

京都大学	博士 (工 学)	氏名	王 宏 洋
論文題目	Development of Combination Processes Consisting of Ozonation, Coagulation and Ceramic Membrane Filtration for Water Reclamation based on Evaluation of Risk and Energy (リスクおよびエネルギー評価に基づくオゾン、凝集、セラミック膜ろ過による複合水再生処理プロセスの開発に関する研究)		
論文内容の要旨)			
<p>第 1 章は、本研究の背景、研究の目的、論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章は、下水から水再生の知見について文献レビューを行っている。</p> <p>第 3 章は、二次処理水、最初沈殿池（初沈）越流水を原水として、一般水質項目、大腸菌群や大腸菌で代表される細菌、大腸菌ファージ MS2 で代表されるウイルス、医薬品類（PPCP）を含む汚染物質を対象にオゾン処理による除去性について半回分式反応器を用いて検討している。さらにセラミック膜（CM）、ポリ塩化アルミニウム（PAC）による凝集、あるいは PAC 凝集+CM を、オゾン処理に対する前処理としての効果を検討している。この結果、二次処理水、初沈越流水ともにオゾン処理による細菌およびウイルスの除去効果の上昇がオゾン注入率の増加とともに認められた。細菌は比オゾン注入率 1.5mO<sub>3</sub>/mgC で、二次処理水では 3.5-Log、初沈越流水では 2.5-Log の不活化率を示した。ウイルスは比オゾン注入率が二次処理水では 1.2mO<sub>3</sub>/mgC で、初沈越流水では 0.8mO<sub>3</sub>/mgC で 4~5-Log の不活化率を示した。CM あるいは PAC 凝集+CM をオゾン消毒の前処理とした場合、ウイルスの比オゾン注入率あたりのオゾン消毒効果の改善は、二次処理水、初沈越流水ともに小さいが、初沈越流水を対象とした場合には、高い不活化率を得るための効果が認められた。PPCP についても、オゾン処理による除去効果はオゾン注入率の増加とともに認められたが、CM あるいは PAC 凝集+CM の前処理による PPCP のオゾン処理での除去率の改善効果は小さかった。</p> <p>第 4 章では、前処理がない場合、または PAC 凝集あるいはオゾン処理後の PAC 凝集を前処理として行った場合、二次処理水を原水としたときの CM の機能を一般水質項目、細菌、ウイルス、PPCP の除去特性について比較している。また前処理の違いによる CM へのファウリングの発生状況と原因について検討している。CM だけで細菌はすべて除去された。しかし、CM によるウイルスの除去性は 0.45-Log と低かったが、PAC あるいはオゾン処理+PAC 凝集を前処理として CM ろ過した場合、8-Log 以上の除去率を示した。PPCP についてはオゾンで前処理した場合のみ、除去効果が認められた。PAC 凝集による前処理は、膜ファウリングの軽減に有効であったが、オゾン処理で前処理する場合、オゾン注入率が 6mg/L ではファウリング効果を抑制するが、2~4 mg/L ではファウリングが進行した。オゾン前処理により PAC 凝集サイズは大きくなる傾向にあったが、CM のファウラントは、糖、タンパク質、フミン酸の蓄積量が、オゾン注入率が 2~4 mg/L の前処理では、オゾン前処理しない場合よりも増加していたが、6mg/L のオゾン注入率では減少していた。</p> <p>第 5 章では、PAC 凝集、オゾン処理、あるいはオゾン処理+PAC 凝集を前処理として行った場合、初沈越流水を原水としたときの CM の機能を一般水質項目、細菌、ウイルス、PPCP の除去特性と CM のファウリングの発生状況と原因について検討している。短期の実験期間ではオゾン前処理だけではファウリング抑制に効果がなく、CM のファウリング抑制のためには、PAC の添加が必要であった。CM そのもので細菌はすべて除去されたが、CM によるウイルスの除去率は 0.2-Log であった。しかし、PAC 凝集により、ゼータ電位の大きさが小さくなり、CM によるウイルス除去率が大幅に改善した。PPCP</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	王 宏 洋
<p>についてはオゾン処理を行った場合のみ、除去効果が認められた。長期の実験期間では、50mg/LのPAC添加量が、CMのファウリング抑制には有効であり、PAC凝集サイズが増大することによる効果と推定された。CMのファウラントとして糖、タンパク質、フミン酸以外の有機物の蓄積量は、二次処理水と対象とした場合よりも初沈越流水の方がかなり多かった。</p> <p>第6章では、オゾン処理、PAC凝集、CMろ過の組み合わせ技術を水再生技術に使う場合のリスク管理とエネルギー消費量の関係と水の再利用への適用性について検討している。原水を二次処理水とする場合の電気消費量は、CMだけでは0.07kWh/m<sup>3</sup>であるが、PAC凝集、オゾン+PAC凝集では0.03 kWh/m<sup>3</sup>に軽減できるが、薬品を含めた全体のエネルギー消費量では、PAC凝集+CMではCMとほぼ同程度、オゾン+PAC凝集+CMでは0.120~0.211 kWh/m<sup>3</sup>に上昇する。また初沈越流水の場合、CMだけでは0.260 kWh/m<sup>3</sup>、PAC凝集を加えると0.154~0.190 kWh/m<sup>3</sup>にエネルギー消費量が改善できる。初沈越流水を原水とする場合、PAC凝集+CMろ過+オゾン処理が、非制限的な農業用水利用には最も適しており、0.390 kWh/m<sup>3</sup>と従来型膜分離活性汚泥法(MBR)よりもエネルギー消費量が低い。二次処理水の場合は、さまざまな再利用用途に適用可能であり、オゾン+PAC凝集+CMは、全体で0.112~0.192 kWh/m<sup>3</sup>の使用エネルギーとなるが、PAC凝集+CMろ過+オゾン処理では、0.082~0.109 kWh/m<sup>3</sup>とより低いエネルギーで多様な再利用用途に適用できる。従って、二次処理水の場合、これまでのオゾン+PAC凝集+CMよりもCMの後にオゾン処理を行う方が有効である。</p> <p>第7章は、本研究の結論である。</p>			

氏名	王宏洋
----	-----

(論文審査の結果の要旨)

世界的に持続可能な水資源の確保が大きな課題となっており、水の再利用は世界的に注目されている。本研究は、セラミック膜 (CM) ろ過とオゾン処理を組み合わせた水再生水技術を水質、運転性の視点から実験的に評価したものであり、概要は以下のとおりである。

1. 下水二次処理水、最初沈殿池 (初沈) 越流水を対象に半回分式オゾン反応槽を用いて、前処理がない場合、前処理として CM、ポリ塩化アルミニウム (PAC) 凝集を行う場合の実験を行っている。この結果から、オゾン処理により医薬品類は効率的に除去できるが、CM あるいは凝集後 CM ろ過しても除去率は改善しなかった。一方、細菌やウイルスは、オゾン処理でオゾン注入率に応じて、除去率は改善するが、その限度があり、CM あるいは凝集後 CM ろ過した後、オゾン処理する場合は、高い除去効果を達成できる。
2. 二次処理水を対象として、CM ろ過する場合の除去機能を検討している。連続式オゾン反応器を用いての前処理、あるいはさらに凝集を行う前処理の実験結果から、CM ろ過により、細菌を完全に除去できるが、ウイルスの除去率は低く、除去効果を高めるためには、凝集剤あるいはオゾンの注入率を増加させる必要があった。一方、医薬品類に対しては、オゾン処理により除去率を改善できるが、凝集や CM ろ過では除去率の改善効果はなかった。また初沈越流水を対象として、PAC 凝集、オゾン処理を組み合わせた前処理の CM ろ過への効果を検討している。CM で細菌はすべて除去されたが、ウイルスの除去率を高めるためには、PAC 凝集が必要であり。PPCP はオゾン処理を行った場合でのみ除去効果が認められた。
3. 二次処理水、初沈越流水を対象とした CM ろ過の運転が可能な、オゾン注入率、凝集剤注入率などの運転条件を明らかにするとともにファウリングの原因物質の特性を検討した。様々な単位操作を組み合わせた場合のリスク削減効果とエネルギー消費の関係を整理し、適切な用途への組み合わせ技術を提案した。

以上、本論文は、CM とオゾン処理技術を用いた再生水の安全性と消費エネルギーの関係を明らかにしたものであり、本論文で得られた成果は、水再利用技術の開発と普及に貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。